



71 Anmelder:
Research & Development of Renewable Energy
(International) Ltd., Limerick, IE

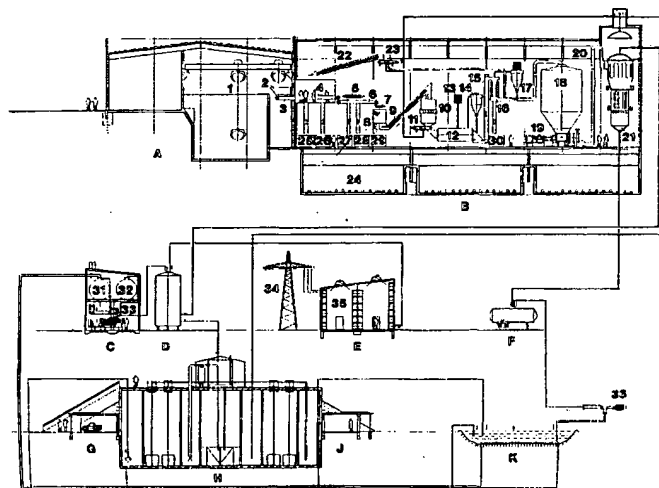
74 Vertreter:
Becker, Kurig, Straus, 80336 München

72 Erfinder:
Winkelkötter, Peter, 85646 Anzing, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren und Vorrichtung zur vollständigen und schadstofffreien Konversion von Material

57 Verfahren und Vorrichtung zur vollständigen und schadstofffreien Konversion von Material, umfassend biogenes Material wie Biomüll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle, und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen, in Energieträger, wie Wasserstoffgas, Methanol, elektrischer Strom, und in Düngemittel, ohne Anwendung von Pyrolyse und/oder Verbrennung, umfassend Mittel bzw. Schritte zum Aufbereiten des Materials und zum Abscheiden flüssiger Bestandteile; zum Fermentieren der abgeschiedenen flüssigen Bestandteile; zum Umwandeln des verbleibenden Materials zu Gasen und Düngemittel, und zum Umsetzen der Gase in die zuvor erwähnten Energieträger. Dementsprechend wird ein geschlossenes, integriertes und autarkes System bzw. Verfahren angegeben.



Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur vollständigen und schadstofffreien Konversion von Material, umfassend biogenes Material wie Biomüll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle, und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen, in Energieträger, wie Wasserstoff, Gas, Methanol, elektrischen Strom, und in Düngemittel, ohne Anwendung von Pyrolyse und/oder Verbrennung.

Aus energietechnischen und ökologischen Gesichtspunkten wurden in den letzten Jahren Lösungen angestrebt, einerseits nachwachsende Energieträger zur Energieerzeugung auszunutzen und andererseits bei der Abfallentsorgung möglichst umweltschonende Verfahren und Vorrichtungen zu entwickeln. Bei der Müllentsorgung spielt die derzeit in Deutschland erfolgende Müllsortierung eine Schlüsselrolle, wobei jedoch noch keine Verfahren und Vorrichtungen bekannt sind, die in effizienter Weise das Müllaufkommen energetisch nutzen können. Es sind zwar Recycling-Anlagen zum Wiederverwenden von Kunststoffabfällen bekannt, diese erfordern jedoch meistens sortenreines Abfallmaterial, welches nur äußerst selten gegeben ist. Biogenes Material wie Biomüll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle werden derzeit entweder kompostiert oder unter Fremdenergiezufuhr in Müllverbrennungsanlagen verfeuert. In jedem Fall wird aus diesem biogenen Material sowie aus Kohlenwasserstoffen und deren organischen Verbindungen bis dato kaum ein nennenswerter energetischer Nutzen gezogen.

Verfahren und Vorrichtungen zur generellen Konversion pflanzlich gebundener Sonnenenergie und von biologischem Material sind z. B. aus der DE 44 02 559 desselben Anmelders bekannt. Weitere Verfahren und Vorrichtungen zur Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen sind beschrieben in der EP 0 347 765 und der DE 40 42 964.

Alle oben genannten bekannten Verfahren erfordern sortenreines biogenes Material und stellen gesamtkonzeptionsmäßig lediglich Interimslösungen dar. Insbesondere ist die Energieausbeute nicht optimiert, und die Handhabung der entstehenden Reststoffe stellt nach wie vor deutliche Probleme dar.

Dementsprechend besteht ein Bedarf für ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zur vollständigen und schadstofffreien Konversion von Material, umfassend biogenes Material und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Bindungen. Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, solch ein verbessertes Verfahren und solch eine verbesserte Vorrichtung anzugeben, welche biogenes Material und/oder Kohlenwasserstoffe zur Energieerzeugung nutzen kann, d. h. beispielhaft verdorbene Polyethylen-verpackte Lebensmittel oder andere nicht sortenreine Abfälle. Das Verfahren und die Vorrichtung sollte desweiteren sowohl ökonomisch als auch ökologisch, insbesondere hinsichtlich Energieausbeute und Schadstoffemission, optimierte Ergebnisse und verbesserte Wirkungsgrade bereitstellen.

Erfindungsgemäß wird die obige Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 sowie durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 2 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Insbesondere wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur vollständigen und schadstofffreien Konversion von Material, umfassend biogenes Material wie Biomüll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen, in Energieträger wie Wasserstoff, Gas, Methanol, elektrischer Strom, und in Düngemittel, ohne Anwendung von Pyrolyse und/oder Verbren-

nung angegeben, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt: Vorbehandeln des Materials durch Sortieren, Mischen, Zerkleinern, Entwässern und Pelletieren des Materials; Vergären des erhaltenen Abpreßwassers in einem Fermenter, wodurch Biogas, insbesondere Methan und Flüssigdünger entsteht; Umsetzen des erhaltenen pelletierten Biomülls in einem Wasserdampfreaktor bei 750–820°C in einem geschlossenen System mit überhitztem Wasserdampf zu Wasserstoffgas und CO bzw. umweltneutralem CO₂; Umwandeln des Wasserstoffgases nach Gasreinigung in Brennstoffzellen in elektrischen Strom oder Konvertieren des Wasserstoffes mit dem gleichzeitig im Wasserdampfreaktor erzeugten CO_x katalytisch zu Methanol, oder Umwandeln des wasserstoffreichen Gases, welches mittels dem Wasserdampfreaktor erhalten wurde, direkt in Gas- und/oder Dampfturbinen in elektrischen Strom und in Prozeßdampf bzw. -wärme; und Verarbeiten der Reststoffe aus dem Fermenter zu Dünger, wobei ggf. Rückstände aus dem Wasserdampfreaktor zugemischt werden können, oder zu einem Additiv für Komposterde weiterverarbeitet werden können.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Energieerzeugung aus Material, umfassend biogenes Material wie organischen Müll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle, und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen, in Energieträger, wie Wasserstoff, Gas, Methanol und elektrischen Strom, und in Düngemittel, ohne Anwendung von Pyrolyse und/oder Verbrennung, insbesondere zur Durchführung des zuvor erwähnten Verfahrens, umfaßt eine Aufbereitungseinrichtung, die flüssige Bestandteile aus dem Material abscheidet, eine Fermentiereinrichtung, insbesondere einen Vier-Stufen-Biogas-Fermenter zur Erzeugung von Biogas und/oder Düngemittel aus den flüssigen Bestandteilen, die in der Aufbereitungseinrichtung abgeschieden werden, einen Wasserdampfreaktor zur Umwandlung des nach der Aufbereitungseinrichtung verbleibenden Materials zu Gasen, insbesondere zu H₂, CO₂, N₂ und CH₄, und Düngemittel, welches insbesondere als Feststoff vorliegt, und eine Gastrenn- und/oder Konversionseinrichtung, um die im Wasserdampfreaktor und/oder in der Fermentiereinrichtung gebildeten Gase zu trennen und/oder in Energie bzw. Energieträger zu wandeln.

Demzufolge stellen das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung ein Gesamtkonzept zur Handhabung von organischem Müll, landwirtschaftlichen Produkten, landwirtschaftlichen Resten und/oder von Kohlenwasserstoffen bzw. deren organischen Verbindungen bereit, ohne daß diesbezüglich Sortenreinheit vorliegen müßte. Die Energieausbeute ist optimiert, wobei die verbleibenden Reststoffe nahezu vollständig als Düngemittel nutzbar sind. Es sollte erwähnt werden, daß die einzelnen Verfahrensschritte sowie die einzelnen Vorrichtungskomponenten an und für sich bekannt sind, jedoch eine erfindungsgemäße Kombination weder bekannt noch nahegelegt ist.

Vorteilhafterweise ist der Wasserdampfreaktor zur allothermen Vergasung des nach der Aufbereitungseinrichtung verbleibenden Materials ausgelegt. Durch die allotherme Vergasung kann eine höchst effiziente Verwertung erzielt werden, wobei im wesentlichen lediglich Nitratsäure als feststoffartig vorliegendes Düngemittel neben den gebildeten Gasen H₂, CO₂, CO, N₂ und CH₄ übrigbleibt.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt die Aufbereitungseinrichtung eine Sortier- und/oder Trenneinrichtung zum Ausschließen von Metall, Mineralien etc. Insbesondere kann die Sortier- und/oder Trenneinrichtung einen Wirbelstrom-Magnetabscheider, ein Magnetabscheiderband, einen Trommel-Magnetabscheider und/oder einen Fächersichter zur Grobabscheidung von Mineralien umfassen. Diese Metall- und/oder Mineralienabscheidungseinrichtung

gen sind an und für sich bekannt und bedürfen keiner detaillierten Beschreibung.

Bevorzugt umfaßt die Vorrichtung zusätzlich eine Pelletiereinrichtung, welche beispielhaft dem Wasserdampfreaktor vorgelagert sein kann. Eine Pelletiereinrichtung ermöglicht zum einen eine besonders einfache und vorteilhafte Beschickung des Wasserdampfreaktors, und erlaubt zum anderen eine platzsparende und einfache Zwischenlagerung des von der Flüssigphase befreiten Materials.

Alternativ oder zusätzlich zu der Pelletiereinrichtung kann eine Trocknungseinrichtung vorgesehen sein, um beispielhaft die Lagerfähigkeit der gebildeten Pellets oder allgemein des von der Flüssigphase befreiten Materials zu verbessern.

Vorteilhafterweise umfaßt die Gastrenn- und/oder Konversionseinrichtung ein Blockheizkraftwerk, eine Brennstoffzelle, ein Gas- und/oder Dampfturbinen-Kraftwerk und/oder eine Syntheseeinrichtung zum Synthetisieren von Energieträgern wie Methanol. Das Blockheizkraftwerk dient bei einer insbesondere bevorzugten Ausführungsform zur Bereitstellung der internen Energie, Wärme und/oder Dampf. Die Brennstoffzelle und/oder das Gas- und/oder Dampfkraftwerk dient zur Energiewandlung aus Wasserstoff bzw. Wasserstoffgas bzw. wasserstoffhaltigem Gas zu elektrischer Energie und nutzbarer Wärme und zu Düngemittel aufzubereiten.

Schließlich ist es bevorzugt, daß die Vorrichtung eine Düngemittel-Aufbereitungseinrichtung umfaßt, die z. B. dazu dienen kann, die feststoffartigen Düngemittel aus dem Wasserdampfreaktor mit dem flüssigen Düngemitteln aus dem Fermenter zu kombinieren.

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der vorliegenden detaillierten Beschreibung einiger derzeit bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, in welchen gilt:

Fig. 1 zeigt schematisch ein Blockdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 2 zeigt eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 3 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Wie es in dem Blockschaltbild von **Fig. 1** dargestellt ist, wird ein Ausgangsmaterial verwendet, welches biogenes Material wie Biomüll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle etc. und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen, beispielhaft Polyethylen, umfaßt. Das Material wird in einem ersten Schritt vermengt und geschreddert, um z. B. ein homogenes Gemisch aus Kohlenwasserstoffen und biogenem Material bei kleiner Körnungsgroße bereitzustellen.

Nachfolgend und/oder begleitend wird das so zerkleinerte Gemisch entwässert und pelletiert. Das Entwässern kann z. B. mittels Auspressen des Gemisches erfolgen. Obwohl nicht dargestellt, kann optional zwischen dem Schritt des Mischens und Schredderns und dem Entwässern und Pelletieren noch ein Aussortieren von Mineralien und Metallen erfolgen, z. B. mittels Magnetabscheidung oder ähnlichem. Nach dem Entwässern und Pelletieren ist die Vorbehandlung des Materials im wesentlichen abgeschlossen, wobei jedoch für die entstehenden festen Pellets noch eine Nach Trocknung durchgeführt werden kann, insbesondere wenn die Pellets gelagert werden sollen.

Nach der Vorbehandlung des Materials werden die flüssigen Bestandteile einem Fermenter zugeführt, in welchem das erhaltene Abpreßwasser vergärt wird. Der Fermenter kann, wie in der gezeigten Ausführungsform, ein Zwei-Stu-

fen-Fermenter oder auch ein Vier-Stufen-Fermenter sein, wie später unter Bezugnahme auf die Vorrichtung dargelegt. In der Fermentiereinrichtung wird Biogas, insbesondere Methan, und Düngemittel, z. B. Flüssigdünger, gebildet.

Das erzeugte Biogas kann in einem Blockheizkraftwerk zur Erzeugung von Strom und Wärme verwendet werden. Ein Teil des im Blockheizkraftwerk erzeugten Stromes und/oder Wärme kann als interne Versorgung dienen, z. B. zum Betreiben eines Wasserdampfreaktors, welcher zur Vergasung der gebildeten Pellets Verwendung findet.

Wie erwähnt, werden die in der Vorbehandlung entstehenden Materialpellets dem Wasserdampfreaktor zugeführt, in welchem bei Temperaturen von 750–820°C in einem geschlossenen System mit überhitztem Wasserdampf die Pellets vergast werden zur Bildung von Wasserstoff bzw. Wasserstoffgas und CO bzw. CO₂. Bestandteile, die nicht in die Gasphase übergehen, sind im wesentlichen Nitratasche, welche unmittelbar als festes Düngemittel gewonnen wird. Die gebildeten Gase können optional einer Gasreinigung unterworfen werden, mit einer entsprechenden Abscheidung von Wasserstoff und einer optionalen katalytischen Methanolsynthese. Der Wasserstoff bzw. das wasserstoffhaltige Gas kann dann Brennstoffzellen und/oder einem Gas- und Dampfkraftwerk zugeführt werden, um Strom und/oder Dampf zu erzeugen.

Dementsprechend bietet das Verfahren gemäß der dargestellten Ausführungsform aus ökologischer Sicht große Vorteile gegenüber anderen Verfahren der Müllentsorgung, wie der Pyrolyse, Verbrennung, Kompostierung oder direkten Deponierung. Aufgrund des geschlossenen Systems, der energetischen Verknüpfung einzelner Verfahrensschritte und der hohen Effizienz des Verfahrens werden Emissionen weitgehend minimiert. Durch den hohen Wirkungsgrad bei der Umwandlung des Materials, umfassend Biomasse und/oder Kohlenwasserstoffe, wird ein Brennstoffverbrauch reduziert, was zu einer zusätzlichen Reduzierung des umweltneutralen CO₂-Ausstoßes führt. Mit dem vorgeschlagenen Verfahren kann somit eine im wesentlichen vollständige Nutzung und Umwandlung von ansonsten schwer handhabbarem Reststoff erzielt werden.

In **Fig. 2** ist eine Prinzipskizze einer einfachen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt, mittels welcher sich ebenfalls das erfindungsgemäße Verfahren beschreiben läßt. Es wird wiederum ein Ausgangsmaterial verwendet, welches biogenes Material und/oder Kohlenwasserstoffe und deren organische Verbindungen umfaßt. In einem Mischer 9–10 kann ein geeignetes bzw. gewünschtes Gemisch aus biogenem Material und/oder Kohlenwasserstoffen gebildet werden. Nachfolgend wird das so erzeugte Gemisch einem Schredder 10 zugeführt, der eine entsprechend kleine Teilchengröße ermöglicht. Sowohl in dem Mischer 1–9 als auch dem Schredder 10 kann eine Flüssigphase abgeschieden werden und einem Fermenter H zugeführt werden. Maßgeblich wird jedoch die Flüssigphase in einer nachfolgenden Entwässerungspresse 11 abgeschieden, um der Fermentiereinrichtung H zugeführt zu werden. Nach der Entwässerungspresse wird das verbleibende Material in einem Trockentrommel 12 getrocknet. Nachfolgend kann das Material einem Doppelschneckenextruder 19 zugeführt werden, welcher das verbleibende Material pelletiert. Die getrockneten Pellets werden einem Wasserdampfreaktor 21 zugeführt, in dem eine Vergasung der festen Bestandteile erfolgt. Sowohl das biogene Material als auch die Kohlenwasserstoffverbindungen werden zu Wasserstoff bzw. wasserstoffreichem Gas und CO_x umgesetzt. Lediglich ein kleiner Teil der Pellets verbleibt als Nitratasche, welche einer Düngeraufbereitung zugeführt werden kann. Die gebildeten Gase werden über einen Gasfilter D einem Block-

heizkraftwerk C, Brennstoffzellen **35** oder einem Gaskraftwerk zugeführt. Das Blockheizkraftwerk C dient in der gezeigten Ausführungsform maßgeblich zur internen Energieversorgung und wird zusätzlich mit Biogas aus dem Fermenter H beschickt. Das im Blockheizkraftwerk C entstehende Abgas kann zur Trocknung des Materials in der Trockentrommel **12** verwendet werden. Der ebenfalls entstehende Dampf kann zur Beschickung des Wasserdampfreaktors **21** verwendet werden. In dem Fermenter H wird Biogas gebildet, welches dem Blockheizkraftwerk C, dem Wasserdampfreaktor **21** oder dem Gasfiltersystem D zugeführt werden kann. Desweiteren wird in dem Fermenter H ein entgas-tes Düngesubstrat gebildet, welches einer Düngeraufbereitung oder einer Kläranlage bzw. einem Verdampfer zugeführt werden kann.

In Fig. 3 ist schließlich eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung als Gesamtkonzeption dargestellt. Das Gesamtkonzept umfaßt eine Materialannahmehalle A mit Rolltoren und Bunkerdeckel, eine Sortier- und Aufbereitungsanlage B, ein Blockheizkraftwerk C zur internen Versorgung, eine Synthesegas-Aufbereitungsanlage D mit einem Methanolreaktor, ein Kraftwerk E zur Stromerzeugung aus Synthesegas und Wasserstoff, eine Düngemittelaufbereitungsanlage F, Betriebsräume und ein Labor G, eine Vier-Stufen-Biogas-Fermenter H, Büro- und Sozialräume J sowie eine thermische Schlammmentwässerungsanlage K.

In der Materialannahmehalle A mit Rolltoren und Bunkerdeckel wird Kommunal Müll oder anderes Ausgangsmaterial angeliefert und im Rohstoffbunker **1** für Restmüll, als unsortiertes und sortenreines Ausgangsmaterial, ggf. separat zwischengelagert. Als Ausgangsmaterialien kommen, wie bereits mehrfach erwähnt, biogene Materialien und/oder Kohlenwasserstoffe in Frage. Insbesondere kann es sich hierbei um Biomüll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle und/oder um Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen handeln. Somit können neben im herkömmlichen Sinn sortenreines Material, z. B. verpackte, verdorbene Lebensmittel etc., als sortenreine Ausgangsmaterialien für die erfindungsgemäße Lösung in Betracht kommen.

Sortenreine Ausgangsmaterialien können unmittelbar über einen Schneckenförderer **22** einer Entwässerungseinrichtung, z. B. in der Form einer Entwässerungspresse **23**, zugeführt werden. Das abgeschiedene Wasser bzw. die abgeschiedene Brühe wird über ein Leitungssystem der Fermentiereinrichtung H zugeführt. Die von der flüssigen Phase befreiten Bestandteile können dem Gesamtprozeß erneut zugeführt werden. Der nicht sortenreine Müll wird über einen Schubwagenspeiser **2** einem manuellen Sortierband **3** zugeführt. Dort können ggf. nicht verwertbare Müllbestandteile händisch aussortiert und in Containern **25**, **26** zwischengelagert werden. Mittels eines Wirbelstrom-Magnetabscheiders **5** und einem Magnetabscheiderband **6** können Metallbestandteile aussortiert und Containern **27**, **28** zugeführt werden. Insbesondere handelt es sich um einen Eisenmetallcontainer **27** und einen Buntmetallcontainer **28**.

Über einen nachfolgenden Trommel-Magnetabscheider in Verbindung mit einem Fächersichter zur Grobabscheidung von Mineralien können Mineralien abgeschieden werden und in einem Grobmineraliencontainer **29** aufgenommen werden. Über einen Rohrförderer **9** wird das von Metallen und Grobmineralien befreite Material einer Vier-Wellen-Schredder- und Hammermühle **10** mit nachgeschalteter Entwässerungspresse zugeführt. Das abgeschiedene Wasser aus der Entwässerungspresse **11** wird wie das aus dem sortenreinen Ausgangsmaterial abgeschiedene Wasser der Fermentiereinrichtung H zugeführt. Die verbleibenden Feststoffe werden in einem Trommeltrockner **12** nachgetrock-

net, dem eine Abluft-Reinigungsanlage **13** zugeordnet ist. Zusätzlich kann ein Entstaubungszyklon **14** bereitgestellt sein. Anschließend wird das von der Flüssigphase befreite und getrocknete Material über einen Senkrechtförderer **15** einem Zickzacksichter zur Feinabscheidung von Mineralien **16** zugeführt. Dieser scheidet Feinmineralien ab, die in einem Feinmineraliencontainer **30** aufgenommen werden können. Dem Zickzacksichter kann ein weiterer Entstaubungszyklon **17** zugeordnet sein.

Das verbleibende Material wird, wie dargestellt, in einem Zwischenlagerbunker aufbewahrt, dem eine Doppelschneckenpresse mit Pelletiereinrichtung **19** nachgeschaltet ist. Obwohl nicht dargestellt, kann es bei bestimmten Anwendungen vorteilhaft sein, die Pelletiereinrichtung vor der Zwischenlagerung durchzuführen, insbesondere bezüglich den Raumanforderungen zur Zwischenlagerung des von der Flüssigkeitsphase befreiten und getrockneten Materials. Über eine Förder- und Beschickungsanlage **20** wird schließlich das Material einem Wasserdampfreaktor mit Katalysator und Heizgas-Registerwärmetauscher **21** zugeführt.

In dem Wasserdampfreaktor wird das von der Flüssigkeitsphase befreite und getrocknete Material bevorzugt allotherm vergast, so daß praktisch ausschließlich Wasserstoff, Wasserstoffgas und CO_x entsteht. Neben den gebildeten Gasen erzeugt der Wasserdampfreaktor lediglich geringe Mengen an Nitratsäure, welche in der gezeigten Ausführungsform einer Düngemittelaufbereitungsanlage F zugeführt werden. Die im Wasserdampfreaktor **21** gebildeten Gase werden in der gezeigten Ausführungsform einer Synthesegas-Aufbereitungsanlage mit zugeordnetem Methanolreaktor zugeführt.

Auch die in der Fermentiereinrichtung H gebildeten Biogase werden der Synthesegas-Aufbereitungsanlage und dem Methanolreaktor D zugeführt. Ein Teil des erzeugten Gases kann zur Darstellung eines autarken Gesamtsystemes zur Eigenversorgung in einem Blockheizkraftwerk C umgesetzt werden. Zu diesem Zweck sind in dem Blockheizkraftwerk vorgesehen ein Thermoträgeröl-Puffertank **31**, ein Agrodiesel-Tank **32** und ein Gasdieselmotoren-Aggregat **33**.

Wie vorangehend erläutert, kann die Blockheizkraftwerk-erzeugte Wärme, der erzeugte Strom und/oder der erzeugte Dampf zur Eigenversorgung, insbesondere des Wasserdampfreaktors **21** und der vorgeschalteten Aggregate, verwendet werden.

Die nicht zum Eigenverbrauch verwendeten Gasbestandteile können über Brennstoffzellen **35** oder auch nicht dargestellte Gas- und/oder Dampfturbinen in Strom gewandelt werden und über ein Leitungssystem **34** dem öffentlichen Energienetz zugespeist werden.

Die Reststoffe des Fermenters werden der thermischen Schlammmentwässerungsanlage K zugeführt, von wo über eine Schlammpumpe abgesetzter Schlamm der Düngemittelaufbereitungsanlage F zugeführt werden kann.

Demzufolge stellt das beschriebene System eine integrierte Anlage bereit, die autark betrieben werden kann, die zuvor beschriebenen Ausgangsmaterial praktisch vollständig umsetzt und einen insgesamt sehr hohen Wirkungsgrad aufweist bei lediglich minimalen Emissionen.

Im folgenden sollen mögliche Emissionen der einzelnen Anlagenkomponenten diskutiert werden. Dabei wird auch das Zusammenwirken der Einzelkomponenten im Gesamtsystem berücksichtigt.

Umweltauswirkungen können dabei prinzipiell von den folgenden Komponenten erwartet werden:

- Annahme und Trennung des Kommunal Mülls als Ausgangsmaterial
- Pelletierung und Trocknung des Ausgangsmaterials

- Fermentierungsstufe für die Flüssigphase
- Blockheizkraftwerk für das Biogas
- Wasserdampfreaktor (Steamreformer)
- Gasreinigung (Gaswäschen und Gasfilter)
- Brennstoffzellen zur Stromerzeugung.

Im folgenden sollen mögliche Emissionen der einzelnen Teilstufen diskutiert werden.

a) Müllannahme und Mülltrennung

Die Annahme des Kommunalmölls findet in einer geschlossenen Fahrzeughalle mit Rolltoren statt. Die Fahrzeuge werden anschließend in einen ebenfalls geschlossenen Müllbunker entleert, so daß davon keine relevanten Geruchsbelästigungen erwartet werden können. Zusätzlich stehen sowohl Annahmehalle als auch Müllbunker unter leichtem Unterdruck, wodurch ebenfalls ein Freisetzen geruchsrelevanter Gase verhindert wird. Der Unterdruck wird dadurch erzeugt, daß die abgesaugten Gase als Ansaugluft für das Blockheizkraftwerk (Gasmotoren) und zur Luftzufuhr der Brenner des Steamreformers verwendet werden.

In dieser geschlossenen Halle findet auch die Mülltrennung statt, so daß auch davon keine relevanten Umweltauswirkungen zu erwarten sind. Für die Vergasung des Biomülls ist allerdings eine sorgfältige Abtrennung einiger nicht-organischer Bestandteile des Kommunalmölls, wie Metalle, chlor- und fluorhaltige Kunststoffe, notwendig, da diese die Emissionen aus der Steamreformerstufe – über die Bildung unter anderem von halogenhaltigen Gasen – erhöhen könnten. Alle anderen Kohlenwasserstoffe und deren organische Verbindungen sind problemlos handhabbar. Aufgrund der vorliegenden Pläne zur Mülltrennung ist aber zu erwarten, daß eine hinreichend saubere Mülltrennung gewährleistet ist. Die abgetrennten Komponenten des Kommunalmölls (z. B. Schrott, Metalle, Glas, Bau- und Mineralstoffe) werden in speziellen Bunkern gesammelt und, wenn möglich, der Reststoffwiederverwertung zugeführt.

b) Trocknung und Pelletierung

In dieser Stufe werden der abgetrennte Biomüll und/oder Kohlenwasserstoffe und deren organische Verbindungen, 50–80% der Gesamtmüllmenge entsprechend, zur Abtrennung der Flüssigphase in einem Schneckenextruder ausgepreßt und pelletiert. Anschließend werden die Pellets mit Heißluft getrocknet.

Gasförmige Emissionen werden in dieser Stufe dadurch vermieden, daß alle Teilschritte in einer geschlossenen, unter leichtem Unterdruck stehenden Halle durchgeführt werden. Ökologisch besonders sinnvoll ist auch einzustufen, daß für die energetisch sehr aufwendige Trocknung der Pellets die heiße Abluft aus den Gasmotoren des Blockheizkraftwerks und des Steamreformers verwendet werden soll. Die Flüssigphase des ausgepreßten Materials wird in geschlossenen Rohrleitungen in den Fermenter gepumpt, so daß auch hier keine Emissionen zu erwarten sind.

c) Fermentierungsstufe

Im Vier-Stufen-Fermenter wird die abgetrennte Flüssigphase des ausgepreßten Materials bzw. Biomülls, der nur noch einen geringen Feststoffgehalt besitzt, zu Biogas vergärt. Da der gesamte Biogasreaktor abgeschlossen ist, kann auch hier eine Gasbeeinträchtigung ausgeschlossen werden. Bisherige von der WEA gebaute und seit Jahren in Betrieb befindliche Biofermenter, die im Hinblick auf ihre Emissionen überprüft wurden, bestätigen diese Aussage. Ein weite-

rer ökologischer Vorteil ist, daß zur Belüftung des Substrats und zur Einstellung der optimalen Vergärungstemperatur die Abwärme aus den Gasmotoren und den Brennern des Steamreformers verwendet werden soll.

Das erzeugte Biogas wird anschließend über Filter gereinigt und im geschlossenen Rohrsystem den Gasmotoren zur Strom- und Wärmezeugung zugeführt. Das entstehende CO₂ wird über Luftfilter gereinigt und an die Außenluft abgegeben.

Die vergärte schlammhaltige Flüssigphase des Fermenters wird über Rohrleitungen in einen Schlamm-polder gepumpt. Dieser Schlamm-polder ist mit Foliendichtungen aus Hochdruckpolyethylen (HDPE) abgedichtet und gegen Lecks mit einer Drainage und Leckwächtern gesichert. In diesem Schlamm-deich wird das überstehende Wasser verdunstet und dadurch die vergärte Schlammphase aufkonzentriert. Der getrocknete Schlamm aus der Vergärung ist weitgehend geruchlos und stellt einen wertvollen Dünger für die Landwirtschaft dar.

Negative Umweltauswirkungen aus dem Schlamm-polder, wie Geruchsbelästigungen, sind bei dem vergärten Substrat nicht zu erwarten. Eine Verunreinigung des Untergrundes des Schlamm-polders mit der Gefahr der Verunreinigung des Grundwassers ist bei sachgerechter Bauausführung und aufgrund geplanter Sicherheitsmaßnahmen nicht zu erwarten.

d) Blockheizkraftwerk (Gasmotoren)

In den Gasmotoren wird das erzeugte Biogas zur Stromerzeugung (Eigenstrombedarf der Anlage) und zur Wärmezeugung verbrannt. Bei dieser Technik handelt es sich um ein weltweit angewandtes Verfahren, das Stand der Technik ist und aufgrund seiner geringen Emissionen nicht weiter diskutiert werden muß. Geräuschemissionen werden durch die Aufstellung in einer geschlossenen Halle minimiert. Weitere energetische und ökologische Vorteile ergeben sich dadurch, daß die Verbrennungsluft für die Motoren aus der Müllannahmehalle abgesaugt wird und das heiße Abgas der Gasmotoren zur Trocknung der Pellets und zur Belüftung des Fermenters verwendet wird.

e) Wasserdampfreaktoren (Steamreformer)

Steam-Reforming wird weltweit vor allem zur Vergasung von Kohle, Torf, Stroh, Erdgas, Holzabfällen und Abfällen aus der Zelluloseherstellung angewandt. Bei diesem Verfahren wird das Material, umfassend biogenes Material und/oder Kohlenwasserstoff, in einem geschlossenen Edelstahlbehälter bei erhöhten Drücken (bis 6 bar) und bei ca. 820°C mit Heißdampf vergast und in CO/CO₂ und Wasserstoffgas gespalten. Bei stickstoffhaltigem Material wird NO_x und bei schwefelhaltiger Biomasse CO_x-Gas erzeugt. Aus alkalihaltigem Material können Salze und mit chlorhaltiger Biomasse (z. B. PVC) Chloride oder HCl-Gase entstehen. Daneben bilden sich, abhängig vom Vergasertyp, geringe Mengen von Teerverbindungen.

Ein Wirbelschichtvergaser kann auch im Dauerbetrieb nur geringste Mengen von Teerverbindungen (kleiner 1%) erzeugen. Durch die wiederholte Rückführung des Staubes wird der Gehalt an Teerverbindungen weiter reduziert.

Das wasserstoffhaltige Gas wird, nach Oxidation von CO zu CO₂, in einem Naßfilter von sauren Gasen (wie HCl, NO_x, SO₂) abgetrennt, in einem Zyklon und einem Elektrofilter vom Staub gereinigt und ggf. nach Abtrennung von CO₂ über Palladiumfilter, über Rohrleitungen der Brennstoffzellen zur Stromerzeugung zugeführt. Die in sehr geringer Menge anfallenden Stäube werden auf ihre chemische Zusammensetzung überprüft und können anschließend, zu-

sammen mit der mineralhaltigen und stickstoffhaltigen Schlacke aus dem Steamreformer, problemlos deponiert werden. Abhängig von der Zusammensetzung des eingesetzten Biomülls ist möglicherweise auch eine Verarbeitung zu einem nitrathaltigen Dünger möglich.

Die geringen Mengen salzhaltiger Wässer aus der nassen Gaswäsche werden mit Kalkmilch neutralisiert und können entweder entsorgt, oder, abhängig von der chemischen Zusammensetzung, in den Schlammfelder geleitet werden.

Umweltrelevante gasförmige Emissionen sind aufgrund der sorgfältigen und extensiven Gasreinigung und der hohen Effizienz des verwendeten Steam-Reformers nicht zu erwarten. Alle bisherigen Erfahrungen im Ausland haben gezeigt, daß relevante Emissionsgrenzwerte teilweise um Größenordnungen unterschritten werden.

f) Brennstoffzellen

Bei der Brennstoffzelle wird das gereinigte wasserstoffreiche Gas aus dem Steamreformer zusammen mit Sauerstoff (bzw. Luft) in einer elektrochemischen Reaktion direkt in elektrischen Strom umgewandelt. Die Reaktion findet, abhängig vom Brennstoffzellentyp, bei Temperaturen ab 80°C mit einem Wirkungsgrad von über 50 bis 65% statt. Die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser ist dabei vollkommen emissionsfrei ("Zero-emission technique").

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Erfindung es ermöglicht, Material, umfassend biogenes Material wie Biomüll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle, und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen, in einfacher, effizienter, ökologischer Weise handzuhaben, bei hoher Ausnutzung der gewinnbaren Energie. Als besondere Anwendungen kommen die Umsetzung von verdorbenen, verpackten Lebensmitteln oder auch von in Polyethylen verpacktem Kompost oder Biomüll in Betracht, so daß die Gesamtkonzeption als neu und erfinderisch anzusehen ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur vollständigen und schadstofffreien Konversion von Material, umfassend biogenes Material wie Biomüll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle, und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen, in Energieträger, wie Wasserstoff, Gas, Methanol, elektrischen Strom und in Düngemittel, ohne Anwendung von Pyrolyse und/oder Verbrennung, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:

- (a) Vorbehandeln des Materials durch Mischen, Zerkleinern, Entwässern und Pelletieren des Materials,
- (b) Vergären des aus Stufe (a) erhaltenen Abpresswassers in einem Fermenter, wodurch Biogas, insbesondere Methan und Flüssigdünger entsteht,
- (c) Umsetzen des aus Stufe (a) erhaltenen pelletierten Biomülls in einem Wasserdampfreaktor bei 750–820°C in einem geschlossenen System, mit überhitztem Wasserdampf zu Wasserstoffgas und CO bzw. CO₂,
- (d) Umwandeln des Wasserstoffgases aus Stufe (c) nach der Gasreinigung in Brennstoffzellen in elektrischen Strom, oder Konvertieren des Wasserstoffes mit dem gleichzeitig in Stufe (c) erzeugten CO_x katalytisch zu Methanol, oder Umwandeln des wasserstoffreichen Gases, das aus Stufe (c) erhalten wurde, direkt in Gas- und

Dampfturbinen in elektrischen Strom und in Prozeßdampf bzw. -wärme, und

(e) Verarbeiten der Reststoffe aus dem Fermenter zu Dünger, wobei gegebenenfalls Rückstände aus dem Wasserdampfreaktor zugemischt werden können oder zu einem Additiv für Komposterde weiterverarbeitet werden können.

2. Vorrichtung zur Energieerzeugung aus Material, umfassend biogenes Material wie organischen Müll, Holz, Garten- und Lebensmittelabfälle und/oder Kohlenwasserstoffe bzw. deren organische Verbindungen, in Energieträger wie Wasserstoffgas, Methanol und elektrischen Strom und in Düngemittel, ohne Anwendung von Pyrolyse und/oder Verbrennung, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung in Kombination umfaßt:

- (a) eine Aufbereitungseinrichtung (1–12), die flüssige Bestandteile aus dem Material abscheidet,
- (b) eine Fermentiereinrichtung (H), insbesondere einen Vier-Stufen-Biogasfermenter zur Erzeugung von Biogas und/oder Düngemittel aus den flüssigen Bestandteilen, die in der Aufbereitungseinrichtung (1–12) abgeschieden wurden,
- (c) einen Wasserdampfreaktor (21) zur Umwandlung des nach der Aufbereitungseinrichtung (1–12) verbleibenden Materials zu Gasen, insbesondere H₂, CO₂, CO, N₂ und CH₄, und Düngemittel, welches insbesondere als Feststoff vorliegt, und
- (d) eine Gastrenn- und/oder Konversionseinrichtung (C, E, D, F, G), um die im Wasserdampfreaktor (21) und/oder in der Fermentiereinrichtung (H) gebildeten Gase zu trennen und/oder in Energie bzw. Energieträger zu wandeln.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Wasserdampfreaktor (21) zur allothermen Vergasung des nach der Aufbereitungseinrichtung (1–12) verbleibenden Materials ausgelegt ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufbereitungseinrichtung (1–12) eine Sortier- und/oder Trenneinrichtung (3–10) zum Ausschließen von Metall, Mineralien etc. umfaßt.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung desweiteren eine Pelletiereinrichtung (19) umfaßt.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung desweiteren eine Trocknungseinrichtung (12) umfaßt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Gastrenn- und/oder Konversionseinrichtung (C, D, E, F, G) umfaßt:

- ein Blockheizkraftwerk, insbesondere zur Bereitstellung von interner Energie, Wärme und/oder Dampf;
- eine Brennstoffzelle zur Umsetzung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Gas in Strom;
- ein Gas- und/oder Dampfkraftwerk; und/oder
- eine Syntheseeinrichtung zum Synthetisieren von Energieträgern wie Methanol.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung eine Düngemittelaufbereitungseinrichtung (F) umfaßt.

THIS PAGE BLANK (U.S.)

- Leerseite -

Fig. 3

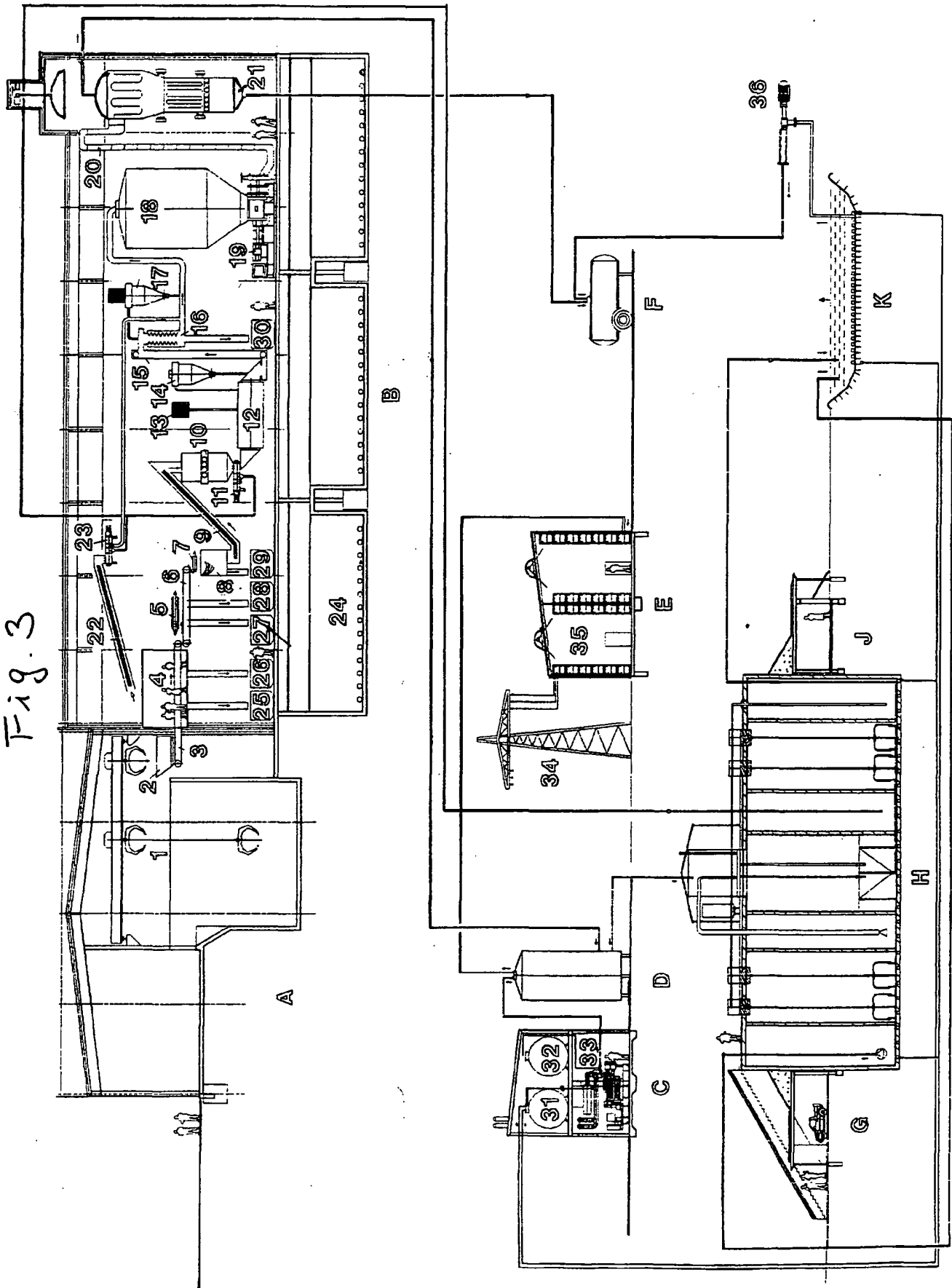


Fig. 1

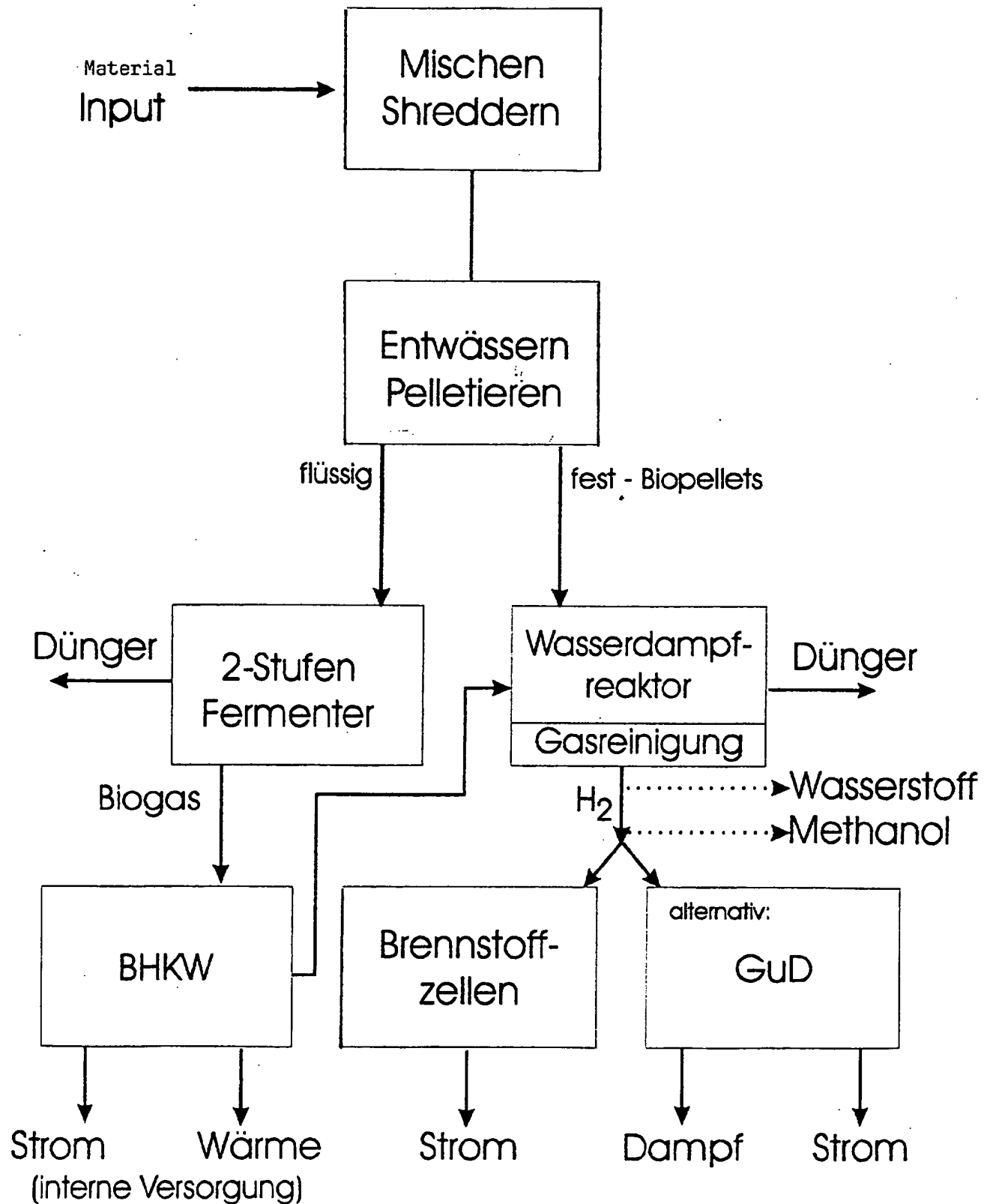


Fig. 2

